

El tapial de las murallas de Granada

IGNACIO VALVERDE ESPINOSA

DR. EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

ESTHER ONTIVEROS ORTEGA

DRA. EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

EDUARDO SEBASTIÁN PARDO

DR. EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

En este trabajo se establecen las características del material empleado en las construcciones de los distintos recintos amurallados de la ciudad de Granada, que se conocen históricamente como “Alcazabas de Granada” y arrabales, distinguiendo entre material de interior de muro y revestimientos. Como objetivo final, este estudio nos ha permitido establecer conclusiones más precisas sobre la metodología constructiva utilizada en estos recintos amurallados, y la evolución de ésta a lo largo de las distintas épocas.

This paper deals with a general analysis of the materials used in the city walls, commonly known as Alcazabas, of Granada. The study concentrates in the material of the inner walls as well as the exterior. This has allowed for a deeper insight in the construction methods used for city walls during different ages.

El inicio de la construcción de las murallas árabes en la ciudad de Granada se remonta al s. VIII, sin embargo los restos que hemos estudiado no son anteriores al s. XI (posiblemente 1013)¹.

El primer recinto fue iniciado por el valí de Elvira, Zawi Ben Ziri, en el 1013. El primer monarca ziri Habús, fortificó y amplió la primitiva fortaleza, que paso a llamarse la **Qasaba Qadima** o Alcazaba Vieja. Su sucesor Habús Badis (1035-1075) amplió el recinto de la muralla, que autores recientes llaman Gidda **Nueva**².

En el período nazarí, Granada llegó a ser una de las ciudades más importantes de Europa, en ella se formaron nuevos arrabales, cada uno de los cuáles se rodeó de su propia cerca.

Estos muros están contruidos en tapial. Se define Tapial, como un molde o encofrado que se utiliza para levantar muros de tierra. Se trata de una técnica constructiva u obra ejecutada con este sistema, que emplea como elemento básico de construcción la tierra³.

La idoneidad de la tierra desde el punto de vista constructivo, va a depender de las propiedades físicas y químicas de este material⁴.

Dentro de sus propiedades físicas, la textura del suelo es el parámetro que mejor define las características de la tierra. La distribución por tamaño de las distintas partículas vienen reflejadas en las curvas granulométricas.

La plasticidad es otra propiedad decisiva, siendo función de la mineralogía, especialmente de la correspondiente a la fracción arcilla (menor 0,002 mm). Los límites entre diferentes estados de consistencia, se

expresan mediante los Límites de Atterberg.

Otra propiedad de gran importancia es el comportamiento del material frente a una densificación artificial (compactación), ya que la densidad del material está en relación directa con la resistencia de los muros a los agentes externos.

Los componentes orgánicos, la existencia de sales solubles, así como la cantidad de óxidos de Fe, Mg y Ca, y el contenido en carbonatos y sulfatos caracterizan la tierra desde el punto de vista químico, que resulta de gran interés de cara a su comportamiento. Por otra parte, la composición mineralógica de las arcillas tienen también un efecto importante en las propiedades químicas del suelo; el agua actúa como agente de unión entre partículas de arcilla, intercambiando iones con el medio.

MÉTODOS

La metodología empleada consta de una fase dedicada a campo, que incluye la toma de datos y muestras, y otra de laboratorio, donde se ha realizado un análisis exhaustivo del material⁵.

En campo

La metodología de campo consistió básicamente en la observación y extracción de muestras en restos dispersos de las Murallas que aún se conservan. Los distintos anillos se agruparon en tramos según su época de construcción (figura 1). En último lugar, se llevó a cabo el emplazamiento geológico de la zona donde se sitúan las murallas, y la localización de las posibles cantera de extracción del material usado en estas construcciones.

En Murallas hemos distinguido tres tipos de extracciones:

- Muestras de interior de muro
- Muestras de revestimiento interior.

- Muestras de revestimiento superficial o pátinas.

En Canteras, basándonos en el hecho de que unos de los aspectos fundamentales de la construcción en tierra consiste en utilizar un material que evite costes elevados en la extracción, elaboración y transporte, hemos supuesto que el material empleado se extraía a pie de obra o en zonas próximas a la ubicación de las construcciones. Teniendo en cuenta esto, se estudió el afloramiento de la Formación Alhambra donde esta situado el barrio del Albayzín.

Para finalizar, indicar que también se ha realizado en campo las determinaciones de la densidad “in situ” del material, tanto en Murallas como en afloramientos de canteras.

En laboratorio

Granulometría por tamizado

El ensayo granulométrico por tamizado viene especificado en la norma NLT-104/72. Esta norma describe el método para determinar el tanto por ciento de suelo que pasa por los distintos tamices empleados en el ensayo hasta la abertura 0,074 mm (nº 200 ASTM). El resto de las partículas de tamaño limo y arcilla se han identificado por difracción de rayos X.

Límites de Atterberg

Para determinar la plasticidad se ha seguido la norma NLT-105/72. El estudio de la fracción arcilla se ha llevado a cabo por Difracción de rayos X. Con esta técnica hemos constatado la presencia de filosilicatos mediante el método de polvo desorientado y, posteriormente, se ha pasado a identificar las distintas especies de minerales de la arcilla existentes en estos materiales mediante agregados orientados.

Ensayo Proctor

Se ha realizado según la norma NLT-108/76.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Procedentes de cantera se han estudiado un total de 21 muestra extraídas del afloramiento situado en las proximidades de Granada, de materiales de la **Formación Alhambra**. En murallas se han extraído un total de 36 muestras.

Dadas las características del material con el que hemos trabajado, ha sido necesario establecer una diferenciación previa en su estudio, según las características del material extraído. La cohesión del material con adición de cal, ha hecho dificultosa su disgregación para el estudio granulométrico, hecho que se ha tenido en cuenta a la hora de su interpretación.

Clasificación del suelo

En el ensayo granulométrico se han despreciado las partículas de tamaño superior a 40 mm. La proporción de partículas mayores de 20 mm llega a superar el 50%, siendo esta fracción muy heterométrica, incluyendo incluso bloques de gran tamaño, donde se diferencian claramente tres niveles diferentes.

Combinando los datos de granulometría y plasticidad se han obtenido unos resultados que vienen indicados en la tabla I.

I CLASIFICACIÓN EN CANTERA

Muestras	Clasificación
Nivel 1	GW-GM
Nivel 2	SC-SM,SC
Nivel 3	SM, SC-SM

De igual manera se ha llevado a cabo un estudio granulométrico para el caso de las muestras de murallas.

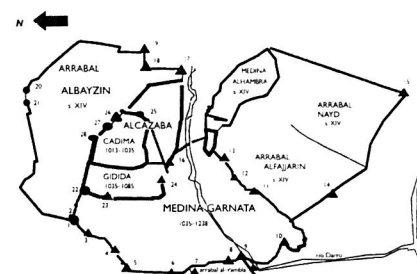


Figura 1
Plano de las murallas

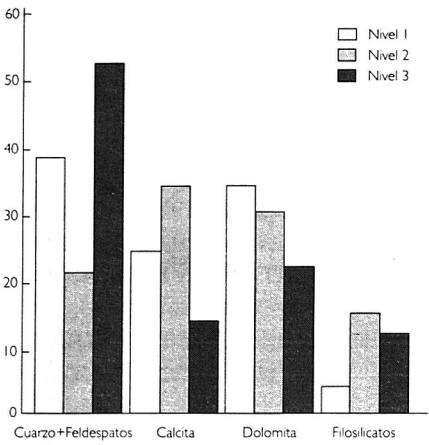


Figura 2
Composición fracción fina. Muestras de cantera

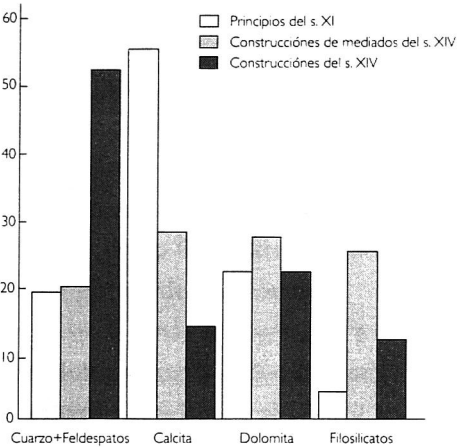


Figura 3
Composición fracción fina. Interior de muro

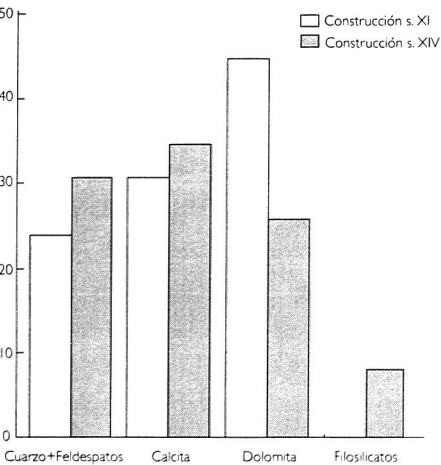


Figura 4
Composición fracción fina. Revestimiento

En las tablas II y III se muestra la clasificación total obtenida.

II CLASIFICACIÓN EN MURALLAS	
INTERIOR DE MURO	
Muestras	Clasificación
ALZ - Cd	GP
ALZ - Gd	GC - GM, GC
CDG	SC - SM
MSM	SC - SM
MSA	SC - SM, SM

III CLASIFICACIÓN EN MURALLAS	
REVESTIMIENTOS	
Muestras	Clasificación
ALZ - Gd	SW, SP
CDG	GC - M, GC
MSM	SP - SM
MSA	SP - SM, GW, SP

Composición mineralógica de la fracción fina

Cantera

La composición de la fracción menor 0,074 mm, viene indicada en la figura 2. Estos resultados muestran la presencia de minerales de la arcilla (filosilicatos).

La composición de la fracción arcilla viene indicada en la tabla IV.

IV MINERALOGÍA DE LA FRACCIÓN ARCILLA

Cantera	Esmeclitas	Ilita + Paragonita	Clorita + Caolinita
Nivel 1	52	42	5
Nivel 2	44	42	14
Nivel 3	45	42	13

En Murallas

De igual manera la composición media de la fracción fina para los distin-

tos lienzos estudiados en Murallas viene indicada en las figuras 3 y 4.

En la fracción fina también encontramos minerales de la arcilla, los cuáles presentan la misma composición que para el caso de los materiales de cantera (Ontiveros et al, 1996).

Densidad y compactación

La densidad natural obtenida mediante isótopos radioactivos, in situ, en este afloramiento de la Formación Alhambra, están en torno al 1,75 g/cm³. Comparativamente se ha determinado la densidad Proctor normal. La figura 5 muestras los resultados obtenidos sobre material de cantera.

Los valores de densidad en murallas se han obtenido por dos procedimientos: directamente por radio-isótopos en campo; y por pesada hidrostática en laboratorio, sólo con material tratado con cal.

Las densidades medias de los muros se indican en la tabla V.

V DENSIDAD Y HUMEDAD EN MURALLAS

MEDIANTE EL TROLEX		
Muestras	% Humedad	Densidad (g/cc)
MSA	7,9	1,7
MSM	7,0	1,9
ALG	6,1	1,95
ALZC	6,1	1,98

La densidad por pesada hidrostática se ha realizado exclusivamente, en muestras estabilizadas con cal, los resultados vienen indicados en la tabla VI (figura 6).

VI DENSIDAD POR PESADA HIDROSTÁTICA

Muestras	Densidad media (gr/cm)
ALZ - C	1,97
ALZ - G	1,62
MSA	1,39
MSM	1,45
CDG	1,6

Materia orgánica

El contenido en materia orgánica en muestras de cantera suele ser muy reducido, no superando en la mayoría de los casos el 0,40%, salvo en suelos del nivel 3 cuyo contenido alcanza valores que superan el 1%.

En la figura 7 se muestra comparativamente los resultados obtenidos en las distintas Murallas con respecto a cantera.

CONCLUSIONES

Sobre la procedencia del material

Con los resultados indicados anteriormente podemos afirmar que el material empleado en la construcción de la totalidad de los recintos amurallados árabes, que actualmente se conservan en la ciudad de Granada, son los correspondientes al afloramiento de la **Formación Alhambra** situado en las proximidades de la ciudad. A esta conclusión hemos llegado basándonos fundamentalmente en datos de carácter textural y composicional.

En la construcción de los muro se empleaban indistintamente el material que tenían a pie de obra, ya que existe cierta coincidencia entre el material que encontramos en el interior de los muro y el de emplazamiento de los mismos.

Este material presenta, por tanto, las siguientes características:

- El nivel 1 es una grava (GW-GM) con un contenido en finos bajo, que oscila entre 4 y 13%. Presenta un valor de Cu superior a 10, (material de granulometría muy extendida).

- El nivel 2, es una arena gruesa (SC-SM). El valor de su módulo granulométrico es inferior al del nivel 1, superando en poco el valor 3.

- El nivel 3 es una arena más fina cuyo contenido en finos supera el 30 %. Los valores del módulo granu-

lométrico están por debajo del valor 3. El valor del Cu continua siendo elevado.

En general se trata de materiales de baja plasticidad y de granulometría gruesa, mayoritariamente gravas y arenas gruesas.

En las granulometrías de los revestimientos se observan variaciones importantes respecto a las de cantera, independientemente de los tramos diferenciados. En la mayoría de los casos la fracción dominante es la arena, sin embargo es frecuente encontrar áridos tamaño grava. Lo que si parece ser un hecho generalizado es que en todos los casos se procedía al cribado del material con el fin de eliminar finos, esto nos lo pone de manifiesto el hecho de no encontrar fracción arcilla.

Respecto a la composición mineralógica podemos destacar lo siguiente:

- Un incremento importante en filosilicatos en los niveles 2 y 3, respecto al nivel 1, coincidiendo con los resultados obtenidos en muestras de lienzos de Muralla del siglo XIV.

- El nivel 1 dada su contenido tan bajo en fracción fina, cabe pensar que las arcillas existentes son de carácter fundamentalmente detrítico.

La composición de estos minerales de la arcilla cuyos resultados vienen indicados en la tabla IV, nos indica, que se trata de suelos con un contenido bajo en arcillas, donde las esmectitas e illita son las fases dominantes. Cabe destacar el suelo rojo (dentro del nivel 3), el cual presenta valores más bajos en esmectitas.

Teniendo esto en cuenta, podemos concluir diciendo que en la construcción de la Alcazaba Cadima y Gidida se empleó material del nivel 1 de cantera (material gravoso) y que, sin embargo, el arrabal del Albayzín está construido con material del nivel 2 y 3 de cantera.

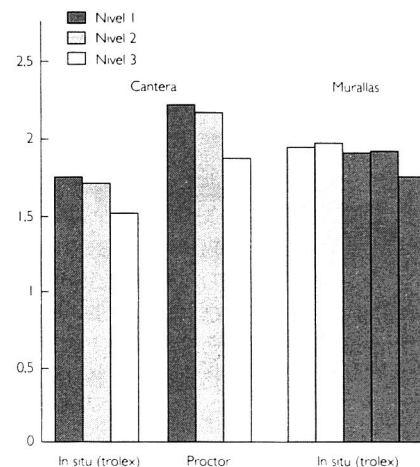


Figura 5
Diagrama comparativo de la densidad "in situ" y la obtenida mediante el Proctor

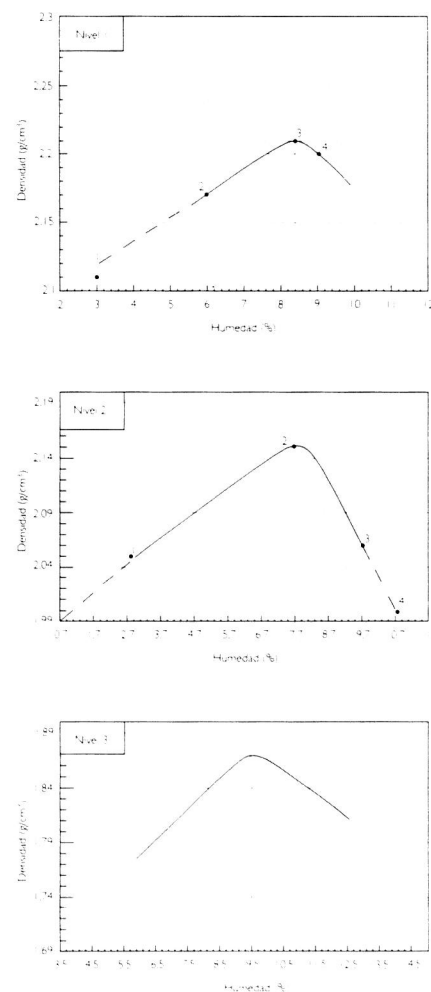


Figura 6
Curvas de compactación óptima

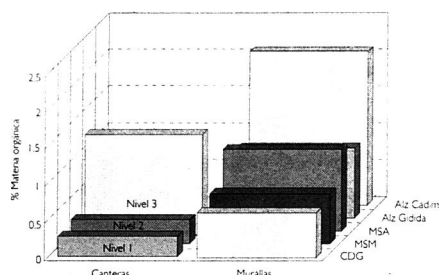


Figura 7
Comparación del contenido en materia orgánica en Canteras en Murallas

Sobre la tecnología de fabricación

Aporte de cal

Comparando la composición mineralógica de la fracción menor de 0,074 mm de las distintas muestras estudiadas, observamos un incremento de calcita en materiales de muralla respecto a cantera.

Esto nos está indicando que hubo un aporte de cal en los materiales de las Murallas durante su puesta en obra; además, en construcciones del siglo XIV, el mayor aporte de cal tenía lugar en los revestimientos. Las diferencias más significativas están en su contenido en calcita que en este último caso llega a valores próximos al 60%, respecto al interior de muro que están en torno al 25-30 %.

Selección del material

Los resultados texturales nos indican que el material de interior de muro, independientemente del recinto estudiado, no sufre apenas modificaciones; se empleaba el que tenían a pie de obra.

Por el contrario, el material de revestimientos está más seleccionado, se tamizaba y se eliminaban las fracciones más gruesas y los finos de tamaño menor 0,074 mm como hemos indicado anteriormente.

Compactación

Los resultados de Murallas están por debajo de las densidades proctor obtenidas en laboratorio con muestras de cantera. Esto nos indica que la compactación que sufría el material no era la óptima, debido fundamentalmente a que se realizaba de forma manual.

Por otra parte las densidades en revestimientos (por pesada hidrostática) son sensiblemente inferiores a las de interior de muro (sobre todo en revestimientos del arrabal del Albayzín, de granulometría previamente

seleccionados). Esto explica que a mayor aporte de cal mayor reducción de la densidad del material pero a cambio tiene lugar un aumento de su resistencia.

Evolución constructiva

En general hemos observado un evolución constructiva de estos muros árabes, relacionada con las distintas etapas que se sucedieron entre los siglos XI y XIV.

Esta evolución constructiva se caracteriza por emplear técnicas constructivas cada vez más sofisticadas, las diferencias más significativas corresponden al volumen relativo de tierra amasada con cal, y a la disposición de los diferentes niveles que lo contienen, así como los procesos constructivos que dan origen a los revestimientos.

En esta evolución constructiva (del siglo XI al XIV), se pasa de un tapial monolítico de cal y tierra, a tierra simplemente compactada, protegida por un revestimiento de cal. En épocas intermedias existía adición de cal al material de interior de muro, si bien se limitaba a tongadas más o menos separadas.

El tapial calicastro es la última técnica constructiva empleada, ésta implica el máximo ahorro de cal y presenta las siguientes ventajas:

- Ahorro de cal frente a muros contruidos sólo de hormigón sin pérdida de resistencia.

- El revestimiento exterior está íntimamente ligado al muro, con su característico acuñaamiento hacia el interior, evitando así el despegue de la capa de protección.

- El carácter protector del revestimiento sobre la fábrica interior del muro, evita su degradación o al menos da lugar a que sea más lenta y gradual.

REFERENCIAS

1. GALLEGO J., VALVERDE I., LÓPEZ J., SANTOS A., MARTÍN M.J., ONTIVEROS E.: *STUDY OF THE MATERIALS USED IN THE EARTHEN WALLS OF THE CITY OF GRANADA SPAIN. CONSERVATION AND RESTORATION*. 7ª CONFERÈNCE INTERNATIONAL ESTUDIO CONSERVAÇÃO ARQUITECTURE DI TERRA, PORTUGAL. 1993. PP. 272-277.
2. BOSQUEL MAUREL, J.: *GEOGRAFÍA URBANA DE GRANADA* ARCHIVUM. UNIVERSIDAD DE GRANADA Y EXCMO. AYUNTAMIENTO DE GRANADA. 1988.
3. TORRES BALBÁS, L.: *CIUDADES HISPANO-MUSULMANAS*. 2ª ED. MINISTERIO DE ASUNTOS EXTERIORES. INSTITUTO HISPANO ARABE DE CULTURA. 1985. PP. 150-156.
4. VALVERDE ESPINOSA, I., LÓPEZ OSORION, J., SEBASTIÁN PARDO, E., ONTIVEROS ORTEGA, E.: *STUDY OF THE MATERIALS USED IN THE EARTHEN WALLS OF THE CITY OF GRANADA SPAIN. CONSERVATION AND RESTORATION*. 7ª CONFERÈNCE INTERNATIONAL ESTUDIO CONSERVAÇÃO ARQUITECTURE DI TERRA, PORTUGAL. 1993. PP. 464-468.
5. ONTIVEROS ORTEGA, E., VALVERDE ESPINOSA, I., SEBASTIÁN PARDO, E.: *TÉCNICAS DE ANÁLISIS APLICADAS AL ESTUDIO DE LOS TAPIALES DE LAS MURALLAS DE GRANADA*. III CONGRESO DE REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO Y EDIFICACIÓN GRANADA. 1996. PP 271-273.